

文章编号: 1674-8085(2011)01-0097-03

液压系统故障信号的小波包检测方法

吴文兵^{1,2}, *吴为民³(1.福州外语外贸职业技术学院计算机系, 福建, 福州 350018 2. 厦门大学信息科技学院, 福建, 厦门 361000
3. 福建交通职业技术学院信息技术和工程系, 福建, 福州 350007)

摘要: 提出了一种利用小波包检测调速阀故障信号的方法。通过小波的小波包分析将信号按一定的尺度进行划分, 不同频率的信号被划分到不同的频段中。由经过预处理的信号经过小波包分解与重构后, 可以得到小波包重构图, 由图中可以获得故障产生的时间点和频率, 再对故障的严重程度进行了量化分析。实验结果表明用小波包理论进行故障检测是可行的。

关键词: 故障检测; 调速阀; 小波包; 小波包分解图; 频率

中图分类号: TH161 文献标识码: A DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2011.01.022

DIAGNOSIS OF FLOW CONTROL VALVE USING WAVELET PACKET

WU Wen-bing^{1,2}, *WU Wei-min³

(1.Fuzhou Technical College of Foreign Studies, Dept. of Computer, Fuzhou, Fujian 350018)

(2.Xiamen University, School of Information Science and Technology, Xiamen, Fujian 361000)

(3.Fujian Communication Technology College, Dept. of Information Technology, Fuzhou, Fujian 350007)

Abstract: We propose the method of flow control valve fault diagnosis employing wavelet packet analysis. We can filter signals into different frequency band based on wavelet packet. According to the wavelet packet decomposition and reconstruction of preprocessed signal, we can get the wavelet packet reconstruction map, through which the time and frequency of the fault signal could be extracted as to measure the damage extent. The experiment results indicate it is feasible to carry out fault diagnosis using wavelet packet theory.

Key words: fault Diagnosis; flow control valve; wavelets packet; wavelet packet decomposition map; frequency

0 引言

液压系统中的调速阀是液压系统中比较容易发生故障的元件之一, 如何对这种发生故障的元件进行诊断, 对液压系统的维护有着重要意义。液压阀振动故障诊断方法主要包括四个阶段, 即数据采集、特征提取、状态诊断和状态分析, 其中最困难的属于特征提取。当前对于故障特征提取的主要方法有: 状态空间分析、功率谱分析、高阶谱、时域平均、自适应消噪、解调分析、时间序列分析等。对于非高斯、非平稳信号则主要运用时频分析方法, 该方法是同时在时间和频率域上对信号进行分

析。时频分析包括线性和非线性两种, 线性时频分析包括小波变换、短时傅里叶变换等, 非线性时频分析包括 Cohen 分布、谱图等。本文借助小波分析理论中的小波包工具, 对故障进行了比较准确的时频分析, 对故障判断以及故障严重性的确定收到了较好效果, 对系统性能的改善和维护有着重要意义。

1 实验过程

调速阀结构如图(1)所示, 调速阀是由差压式减压阀和节流阀组合而成的, 调速阀进口压力由溢流阀调整, 基本恒定, 出口压力由活塞上的负载 F 决

收稿日期: 2010-11-12; 修改日期: 2010-12-30

基金项目: 2008 福建省重大专项课题 (2008HZ0201)

作者简介: 吴文兵(1968-), 男, 江西临川人, 讲师, 硕士, 主要从事信号处理、嵌入式系统等研究(E-mail: 178987536@qq.com);

*吴为民(1970-), 男, 福建福州人, 高级工程师, 主要从事计算机系统结构、信号处理等研究(E-mail: 237165370@qq.com).

定, 减压阀阀心上端的油腔 b 通过孔道 a 和节流阀后的油腔相通, 压力为 P₂, 而腔 c 和腔 d 通过孔道 f 和 e 与节流阀相连, 压力为 P_m。活塞上负载 F 增大时, P₂ 也增大, 于是作用在减压阀阀心上端的液压力增大, 阀心下移, 减压阀的开口加大, 压强减小, 因而使 P_m 增大, 结果使节流阀前后压差 P_m - P₂ 保持不变, 反之亦然, 这样就使通过调速阀的流量恒定不变, 活塞运动的速度稳定, 不受负载变化的影响^[1,2]。

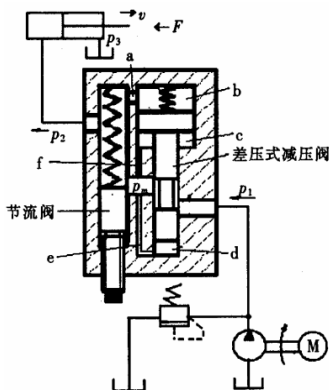


图 1 调速阀结构

Fig. 1 The structure of flow control valve

利用 NI 的软件 LabVIEW 及 PCI-6014 的数据采集卡和一个加速度传感器, 依次采集调速阀在正常和故障状态下的振动信号。实验中设置了两种故障。在测试过程中, 采样频率设为 1024Hz, 读取频率为 512 Hz。实验数据采集程序如图 (2) 所示。

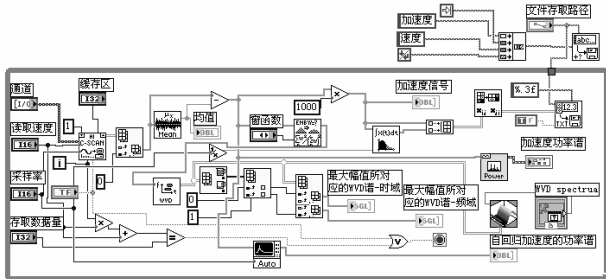


图 2 数据采集程序图

Fig. 2 Data sampling Diagram

由于测试过程中系统外部和内部各种因素的

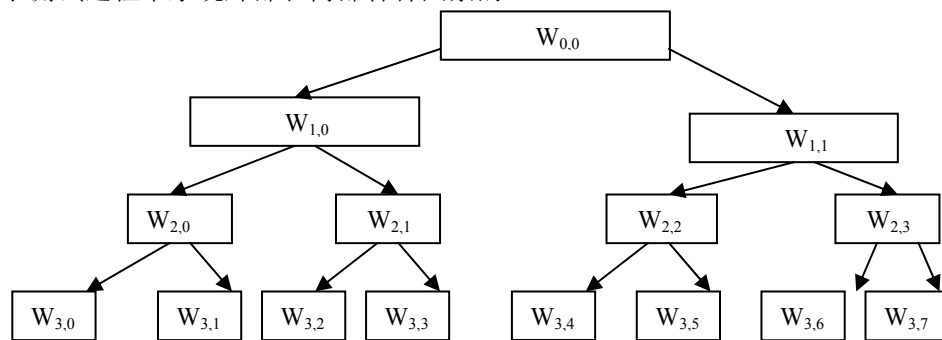


图 3 小波分解图

Fig.3 Wavelet Packet Decomposition Tree Map

影响必然在输出过程中夹杂着许多不需要的成分, 这样就需要对所获得的数据进行预处理, 剔除混杂在信号中的干扰噪声。本文采用中值法对采集的振动信号进行了预处理^[1]。

2 小波包分析

小波分析是把信号 s 分解成低频 a1 和 高频 d1 两部分, 在分解中, 低频 a1 中失去的信息由高频 d1 捕获。在下一层的分解中, 又将 a1 分解成低频 a2 和 高频 d2 两部分, 低频 a2 中失去的信息由高频 d2 捕获, 如此类推下去, 可以进行更深层次的分解。小波包分解则不然, 它不仅对低频部分进行分解, 而且还对高频部分也进行分解。因此, 小波包分解是一种比小波分解更为精细的分解方法。正因为如此, 小波包分析是一种更广泛应用的小波分解方法, 它广泛应用于各种信号处理, 包括信号的分解、编码、消噪、压缩等^[3,4]。

设空间 {Vn} 是 L2(R) 的多分辨率分析, φ(t) 和 ψ(t) 是相应的正交尺度函数和正交小波函数, 满足的尺度方程为

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in Z} g_k \phi(2t - k)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in Z} h_k \psi(2t - k)$$

若记 u₀(t) = φ(t), u₁(t) = ψ(t), 则上面两式变为

$$u_0(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in Z} g_k u_0(2t - k)$$

$$u_1(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in Z} h_k u_0(2t - k)$$

那么, 由尺度函数 φ(t) 确定的正交小波包是由

$$u_{2l}(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in Z} g_k u_l(2t - k)$$

$$u_{2l+1}(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in Z} h_k u_l(2t - k)$$

$$\{u_m\} (m = 0, 1, 2, \dots)$$

所定义的函数集合 $\{u_m\}(m=0,1,2,\dots)$ 。由于尺度函数 $\phi(t)$ 是由滤波器 $\{g_n\}_{n \in \mathbb{Z}}$ 惟一确定,所以小波包也是 $\{g_n\}_{n \in \mathbb{Z}^+}$ 的正交小波包。

设函数集 $W_{j,n}=(W_{j,n}, k(x), k \in \mathbb{Z})$ 是一个 (j, n) 小波包,对正数 j 和 n ,小波包以树结构来组织。下图中的树结构的最大分解层等于 3,对每一个小波包分解尺度 (j, n) 可以取 $0, 1, \dots, 2^j-1$ 。图 3 显示的是各个 W 函数在小波包分解结构中的位置。

在图 3 中,从 $W_{3,0}$ 到 $W_{3,7}$ 各占该信号频段的 $1/8$,即如果设被分解信号的最高频率为 1,则 $W_{3,0}$ 占据 $[0,1/8]$ 的频段, $W_{3,1}$ 占据 $[1/8,2/8]$ 的频段,以此类推, $W_{3,7}$ 占据 $[7/8,1]$ 的频段^[5,6,7]。

3 实验结果分析

根据上述方法,分别对正常情况、将调速阀内的阀芯取出(故障一)、在调速阀内的弹簧上缠绕硬纸片(故障二)三种情况进行采样,对采样信号进行数据预处理后进行小波多分辨分解,绘制出小波分解后的系数重构图,采用 db1 小波,如图 4,图 5,图 6 所示。图中的横轴表示时间,纵轴表示振幅,S130 到 S137 分别对应于 $W_{3,0}$ 到 $W_{3,7}$ 的小波包的系数重构。通过对比三个图像,可以获取以下信息:

几乎在整个信号频率范围内,故障一的小波包系数重构后的信号振幅超过正常信号振幅的程度都远远大于故障二,只是在 S135, S137,即 $[5/8, 6/8]$ 和 $[7/8,1]$ 频段,故障一的振幅又远小于正常信号,而故障二在整个频段内都比较接近于正常信号,所以可以判断出故障一的严重程度远超故障二,必须尽快排除。

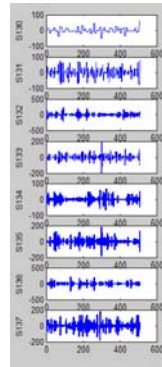


图 4 正常信号

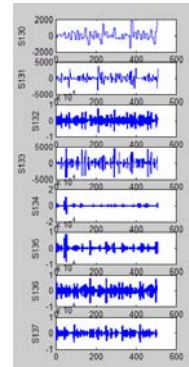


图 5 故障一

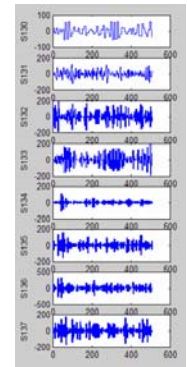


图 6 故障二

Fig.4 Normal Signal Analysis Fig.5 Abnormal Signal(1) Analysis Fig.6 Abnormal Signal(2) Analysis

4 总结

小波分析优于傅立叶分析的地方是,它在时域和频域同时具有良好的局部化性质。小波的多分辨分析可以将信号按一定的尺度进行划分,不同频率的信号被划分到不同的频段中。小波包分解则不然,它不仅对低频部分进行分解,而且还对高频部分也进行分解。因此,小波包分解是一种比小波分解更为精细的分解方法。利用小波包分解可以比较详细地了解信号的时频特性,从而可以对故障信号进行较为全面的分析。

参考文献:

- [1] 蒋雨燕,黄宜坚.时间序列双谱在调速阀故障诊断中的应用[J].集美大学学报,2008,13(2): 175-179.
- [2] 严桃平.调速阀的两种常见结构分析及选用[J].机床与液压,2010,38(12):124.
- [3] 嵇斗,王向军,张怀亮.基于小波分析的自适应谱线增强信号提取[J].中国舰船研究,2010,5(2): 74-77.
- [4] 胡昌华,张军波,聂军,等.基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析[M].西安:西安电子科技大学出版社,1999.12:203-225.
- [5] 张贤达.时间序列分析[M].北京:清华大学出版社,1996:138-208.
- [6] 潘旭峰,谢波,李晓雷.小波变换理论及其在机械故障诊断中的应用[J].振动与冲击,1998,17(1):18-23.
- [7] 谢晓燕.神经网络[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007:320-440.